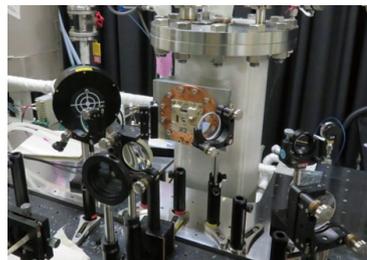
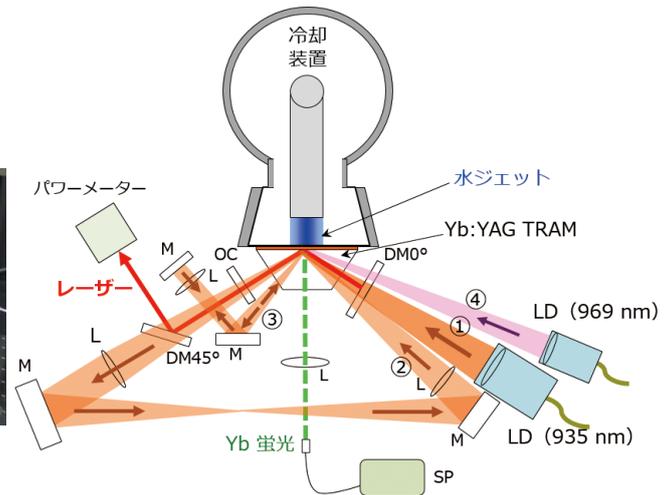


CONTENTS

- 常温動作キロワット出力 Yb:YAGレーザーの開発
- SPIE Security + Defense 2019 国際会議報告
- レーザー総研オープンセミナー
- レーザー技術の最先端 ~レーザー加工からインフラ診断まで~
- 平成30年度研究成果報告会(ILT2019東京会場)のご案内
- 主な学会報告予定



【表紙図】(左)水ジェット冷却装置写真、(右)高励起レーザー発振試験配置図



常温動作キロワット出力 Yb:YAGレーザーの開発

レーザー計測研究チーム 谷口誠治

レーザープロセス研究チーム ハイク コスロービアン

レーザープロセス研究チーム 藤田雅之

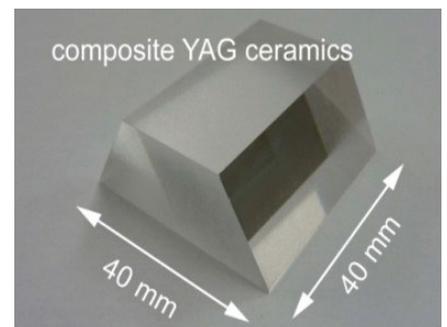
レーザー技術開発室 本越伸二

■はじめに

固体レーザー材料としてのYb:YAGは、励起量子効率が大きく熱損失が小さい、蛍光寿命が長いことエネルギー蓄積能力が高いなどの特長から、高出力、高パルスエネルギー用のレーザー材料として期待されている。当研究所では、極薄いYb:YAG層を底面に接合したYAGコンポジット(Yb:YAG TRAM(Total-Reflection Active-Mirror、全反射型アクティブミラー方式)) (図1)をレーザー媒質に用いて、常温で動作するキロワット級高出力CWレーザーの開発を行ってきた。

これまでの研究において、高出力固体レーザー開発における最重要課題の一つであるレーザー媒質の発熱対策のため、媒質自体の発熱を抑制できるゼロフォノ

ンライン(ZPL、969 nm)励起、および除熱性能が高い水衝突噴流(ジェット)冷却法の導入を進めてきた。その結果、ZPL励起による媒質の発熱抑制に伴う発振効率の増加(Laser Cross No. 361, 2018 Apr.)や、水ジェット冷却による除熱能力の向上(Laser Cross No. 368, 2018 Nov.)を実験で確認し、これらの手法がレーザーの高効率化、高出力化に有効で



【図1】Yb:YAG TRAMの写真

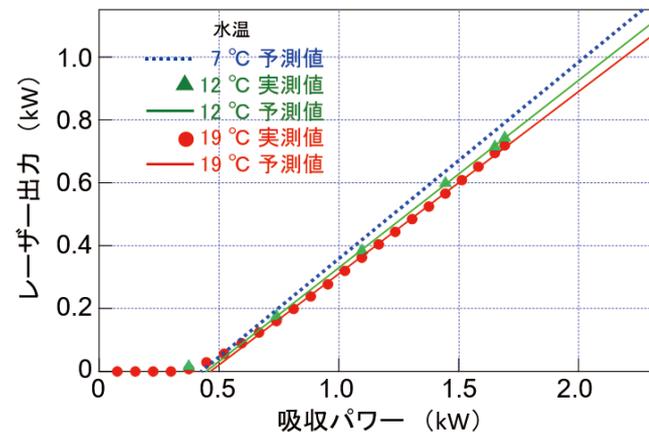
あることを明確にした。さらに、レーザー媒質の光吸収率を向上させるため2段励起方式を導入し、高励起パワー(～2 kW)条件でのレーザー発振試験を行った結果、最大750 Wのレーザー出力を得ることに成功した(Laser Cross No. 373, 2019 Apr.)。また、これらの研究結果を分析することにより、キロワット出力のために必要な具体的条件が明らかになってきた。本報告では、これまでの研究に基づき、キロワット出力を実証するため、冷却条件や励起方式を改良して高励起レーザー発振試験を行った結果について述べる。

■kW出力条件の予測

前回の報告(Laser Cross No. 373, 2019 Apr.)で示した高励起条件でのレーザー出力特性から、1 kW出力を得るために必要な条件を予測した。出力特性の予測には、我々が作成した、レーザー媒質の温度(T)依存性因子を取り入れた出力予測モデル(下式)を用いた。

$$P_{out}(T) = A I_{out}(T) = \eta_{slope} \frac{V}{\left(\frac{f_l(T) + f_u(T)}{h\nu_p} \sigma_{emi}(T) \tau_f(T) \right)} (g_0(T) - g_{th})$$

ここで、 $P_{out}(T)$: レーザー出力(= $A I_{out}(T)$)、 A : 励起面積、 $I_{out}(T)$: 出力強度)、 η_{slope} : スロープ効率、 V : 励起体積、 $f_l(T)$: レーザー上準位占有率、 $f_u(T)$: レーザー下準位占有率、 $\sigma_{emi}(T)$: レーザー発振波長(1030 nm)での誘導放出断面積、 $\tau_f(T)$: 蛍光寿命、 $h\nu_p$: 励起光光子エネルギー、 $g_0(T)$: 小信号利得、 g_{th} : 発振しきい値での小信号利得、を示す。図2に、前回報告した吸収パワーに対するレーザー出力特性の実測値と、モデルによる計算値を比較した結果を示す。計算値は実測値とよく一

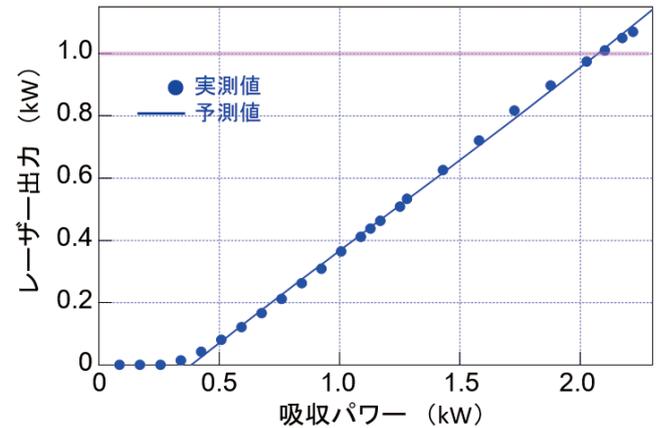


【図2】レーザー出力特性の計測値と予測値の比較

致している。また冷却水温を低下させると、冷却性能が向上して媒質温度がより低温に保持され、出力特性(スロープ効率)も向上する挙動も再現されている。図には水温をさらに下げた(7℃)条件での予測出力を併せて示した。これらの結果から、冷却水温が19℃時には約2.2 kW、7℃時には2 kWの吸収パワーで1kW以上の出力が得られると予測される。

■1kWを超える出力を実証

1 kWのレーザー出力を実証するため、冷却条件や励起方式を改良した高励起レーザー発振試験を行った。表紙図(右)に試験配置を示す。媒質の冷却には、噴流の速度および温度の調整が可能な水ジェット冷却装置(表紙図(左))を用いた。TRAMの背後から水を高速で噴出させ底面を直接冷却する。上記の予測に基づき、冷却水温は7℃まで低下させた。レーザー媒質にはYb濃度5 at% - 層厚0.6 mmのTRAMを用いた。TRAMの近傍にダイクロイックミラー(DM 0°)、結合出力ミラー(OC、反射率85%)を配置し、共振器を作成した。2 kW以上の吸収パワーを得るため、媒質の光吸収率を考慮して励起には4多段励起方式を導入した。1段目の励起で媒質に吸収されなかった光を再度媒質に入力し、さらに2段励起後に透過した光を再び媒質に入力する(図中①～③)ことで3段励起光学系を作成した。励起光源には、2 kW以上の励起パワーが得られる波長935 nmのLDを用いた。さらに波長969 nmのLD(最大600 W)を4段目の励起に用い(図中④)、吸収パワーを最大で約2.2 kWまで増加させた。吸収パワーは、分光器(SP)を用いて媒質(Yb)の蛍光スペクトルを同時計測して励起中心部の温度を推定し、光吸



【図3】レーザー出力特性(4段励起、水温 7℃)の実測値と予測値

収率の温度依存性を考慮して求めた。励起ビーム径は6mmφとした。

図3にレーザー発振試験結果を示す。約2 kWの吸収パワーで出力は1 kWに到達し、キロワットを越えるレーザー出力(最大 1.07 kW)を実証した。スロープ効率は約60 %と高い値が得られ、その出力特性は出力モデルによる予測値とも良い一致を示した(図中実線)。

■まとめ

本研究では、常温で動作するキロワット級固体CWレーザーの開発を目標に、水ジェット冷却を用いた高励起レーザー発振試験を行い、その出力特性について検討した。その結果60 %以上の高いスロープ効率が得

られ、1 kWを越えるCWレーザー出力(1.07 kW)を実証した。この結果はレーザーのさらなる高出力化に向けたマイルストーンとなる。今後は高出力化の次なる指標となる10 kW級出力のレーザー開発に向け、出力予測モデルによるシミュレーションなどの検討を行っていく予定である。

謝辞：本研究の一部は、安全保障技術研究推進制度(研究課題名「ゼロフォノンライン励起新型高出力Yb:YAGセラミックレーザー」)の支援を受けて実施した。水噴流冷却装置の開発は、三菱重工株式会社との共同研究として行われたものである。ご協力に深く感謝いたします。

SPIE Security + Defense 2019 国際会議報告

◆SPIE Security + Defenseが ストラスブールで開催

9月9日～12日の4日間にわたり、ストラスブール(仏)にて国際会議SPIE Security + Defense 2019が開催された。ストラスブールはフランスとドイツの国境にある都市で、古くから両国が領有権を争ってきた土地としても知られる。ドイツのフランクフルト空港から直行バスに乗り2時間30分で行くことができる。会場のPalais de la musique et des congrèsは、市街地から北西方向に少し離れた場所に位置するが、トラムでのアクセスは良く、参加登録手続きの際には学会期間中利用できるトラムチケットが支給された。

本学会は、筆者が参加したElectro-Optical Remote Sensing(電気光学リモートセンシング)の他、高出力レーザー技術に関するHigh Power Lasers: Technology and Systems, Platforms, Effects、光学・生体材料に関するOptical Materials and Biomaterial in Security and Defense、量子通信など量子技術を取り扱うQuantum Technologies and Quantum Information Science、AIおよび機械学習の応用に関するArtificial Intelligence and Machine Learning in Defense Applicationsなど、あわせて12の専門分野のセッションで構成され、またリモートセンシングに関する国際会議(SPIE Remote Sensing)が併催されるのが通例である。発表会場は会議ごとに分けられておらず、隣の部屋でRemote Sensingの講演も行われるので、レーザーを用

レーザープロセス研究チーム 染川智弘

いたりリモートセンシング技術について幅広い分野の聴講が可能であった。プレナリーセッションはRemote Sensingと共通で行われ、Remote Sensingからドイツ航空宇宙センター(DLR)のMoreira博士による衛生レーザー観測技術の現状と今後の計画について、Security + Defenseからはアメリカとフランスの軍事研究についての紹介があった。

◆レーザー照明を用いた海上監視技術

DLRの研究グループから、"Development of a novel low-cost NIR gated-viewing sensor for maritime search and rescue application"というタイトルで海上の監視技術についての報告があった。1Wの近赤外VCSEL(垂直共振器面発光レーザー)を7個並べて照明光源に利用し、カメラでの画像測定を電気シャッターで時間的に切り出すことで、画像中に位置情報を得ようという試みである。原理的な真新しさはないが、他にフラウンホー

ファー研究所(Fraunhofer IOSB、独)のグループからも、波長1570 nmのアイセーフパルスレーザー(3 mJ/pulse)を光源に用いた類似



【写真1】学会会場(Palais de la musique et des congrès)

の発表があったため、理解しやすいカメラ画像に付加価値をつける研究が盛んになっているのかもしれない。また質疑ではコストに関する質問も多く、市場を意識した開発が望まれているようである。

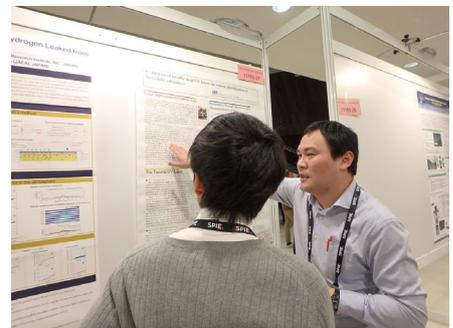
◆入国審査のセキュリティー強化に光技術を利用

Rovert Gordon 大学(英)の研究グループから、"Fluorescence lifetime assisted enhanced security feature in travel documents for border control and security applications"というタイトルで、入国審査の際のセキュリティー強化に向けた取り組みについての報告があった。パスポートにテルビウム-ジスプロシウム(Tb-Dy)ドープの光ファイバーを埋め込み、385 nmのLEDを入射して発生する可視域の蛍光スペクト

ルをセキュリティーに利用しようという考えである。ファイバーの強度など、まだまだ課題は山積みに思えたが、セキュリティー分野での光の利用は面白い。

◆次回開催

次回(SPIE Security + Defense 2020)はスコットランドの首都エジンバラでの開催が予定されている。



【写真2】発表時の筆者(写真右)

INFORMATION

レーザー総研オープンセミナー

レーザー技術の最先端 ~レーザー加工からインフラ診断まで~ 平成30年度研究成果報告会(ILT2019東京会場)ご案内

日時：令和元年11月12日(火)10:30-16:30

場所：科学技術館 1F 6号会館

(東京都千代田区北の丸公園2-1)

<http://www.jsfor.jp/access/map/>

【プログラム】

10:30 ~ 開会挨拶所長 井澤 靖和

●特別講演

10:35 ~ テラヘルツ波科学技術の最近の展開
(国研) 理化学研究所 伊藤 弘昌氏

●レーザー加工の最先端

11:20 ~ レーザーアブレーションの基礎とシミュレーション
主席研究員 藤田 雅之

11:40 ~ ファイバーレーザーを使った表面加工
主席研究員 藤田 雅之

12:00 ~ 休憩

●レーザー開発の最先端

13:30 ~ ジェット水流冷却キロワット出力 Yb:YAG レーザー
副主任研究員 谷口 誠治

14:00 ~ UV プリンティング光源の開発

主任研究員 本越 伸二

14:25 ~ 光学素子のレーザー損傷とその評価方法

主任研究員 本越 伸二

14:50 ~ 休憩

●レーザー計測の最先端

15:10 ~ 共鳴ラマン効果による微量物質計測

上席研究員 染川 智弘

15:30 ~ 陸海空でのリモートセンシング技術

上席研究員 染川 智弘

15:50 ~ レーザーを用いたインフラ検査技術

主任研究員 島田 義則

【開催概要】

<受講料> 無料

<講演資料> ご希望に応じて3,000円(但し、賛助会員等は無料)となります。

<定員> 140名(定員になり次第締切らせていただきます)

<参加申込> こちらのサイトからお願いいたします。

https://www.optronics.co.jp/seminar/ilt2019_am.php

主な学会報告予定

10月20日(日)~23日(水) International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory (ISOM 2019)

(朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター)

島田 義則「Development of Laser-Based Remote Sensing Technique for Detecting Defects of Concrete Lining」